مجله به‌زراعی نهال و بذر
جلد ۲-۳۵، شماره ۱، سال ۱۳۹۸

# ارزیابی تحمل به خشکی در لاین‌های اینبرد نوترکیب برنج با استفاده از شاخص‌های تحمل به تنش

# Evaluation of Drought Tolerance in Rice Recombinant Inbred Lines Using Stress Tolerance Indices

برزو کازرانی[۱]، سعید نواب‌پور[۲]، حسین صبوری[۳]، سیده ساناز رمضان‌پور[۲]، خلیل زینلی‌نژاد[۴] و علی اسکندری[۵]

۱- دانش‌آموخته دکتری، گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
۲- دانشیار، گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
۳- دانشیار، گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی ، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران.
۴- استادیار، گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
۵- استادیار، پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، کرج، ایران.

**تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۲/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۸/۲۰**

## چکیده

**کازرانی، ب.، نواب‌پور، س.، صبوری، ح.، رمضان‌پور، س. س.، زینلی‌نژاد، خ.، و اسکندری، ع. ۱۳۹۸.** ارزیابی تحمل به خشکی در لاین‌های اینبرد نوترکیب برنج با استفاده از شاخص‌های تحمل به تنش. **مجله به‌زراعی نهال و بذر ۲-۳۵:** ۸۱- ۵۹.

**به‌منظور ارزیابی لاین‌های اینبرد نوترکیب برنج حاصل از تلاقی دو رقم برنج اهلمی طارم و سپیدرودبه ترتیب متحمل و حساس به تنش خشکی، آزمایشی در بهار سال ۱۳۹۵ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه گنبد کاووس اجرا گردید. یکصد و شانزده لاین اینبرد نوترکیب در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو محیط (بدون تنش و تنش خشکی) بررسی و ارزیابی شد. شاخص‌های MP، GMP، STI، RDY، HM، $K_1$STI و $K_2$STI با عملکرد دانه در هر دو محیط (تنش و بدون تنش) همبستگی بالایی داشتند، بنابراین به‌عنوان شاخص‌های مناسب جهت انتخاب لاین‌های متحمل به تنش خشکی شناسائی شدند. تجزیه بای‌پلات بر اساس دو مولفه اول نشان داد که لاین‌های شماره ۱۲، ۱۱۲ و ۱۱۳ به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل و لاین‌های شماره ۴۳، ۵۰، ۶۴ و ۸۹ به‌عنوان ژنوتیپ‌های حساس شناخته شدند. بای‌پلات شاخص‌های SNPI و SSPI را نیز به‌عنوان معیارهای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی معرفی کرد. بر اساس ۱۷ شاخص تحمل و حساسیت به خشکی و عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش گروه‌بندی لاین‌ها با استفاده از تجزیه خوشه‌ای به روش WARD انجام گرفت و چهار گروه تشکیل شد. خوشه‌های دوم و چهارم به‌ترتیب با بیشترین و کمترین مقدار $K_2$STI به‌ترتیب معرف ژنوتیپ‌های متحمل و حساس بودند. در مجموع بر اساس تجزیه بای‌پلات و تجزیه خوشه‌ای لاین‌های شماره ۱۱۲ و ۶۴ به ترتیب به عنوان متحمل‌ترین و حساس‌ترین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در تحقیق حاضر شناسایی شدند. عملکرد دانه لاین شماره ۱۱۲ در شرایط تنش و بدون تنش به‌ترتیب ۵۱۹۰ و ۶۶۴۰ کیلوگرم در هکتار و عملکرد دانه لاین شماره ۶۴ در شرایط تنش و بدون تنش به‌ترتیب ۱۶۴۰ و ۲۲۴۰ کیلوگرم در هکتار بود.**

**واژه‌های کلیدی: برنج، تنوع ژنتیکی، تنش خشکی، تجزیه خوشه‌ای، تجزیه تابع تشخیص.**

---

نگارنده مسئول: s.navabpour@gau.ac.ir تلفن: ۰۱۷۳۲۴۳۷۶۱۶

**مقدمه**

برنج غذای اصلی بیش از نیمی از مردم جهان است. برنج و مشتقات آن ۷۰-۶۰ درصد انرژی مورد نیاز آن‌ها را تامین می کند (Marathi *et al.*, 2012). در سال ۱۳۹۵در ایران ۵۹۶ هزار هکتار زیر کشت برنج رفت. در همین سال میانگین تولید شلتوک برنج در ایران ۴۹۰۱ کیلوگرم در هکتار بود (Anonymous, 2016).

تنش خشکی مشکل اصلی و محدود کننده تولید برنج است (Pandey and Shukla, 2015). در گذشته تصور می‌شد که عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی دارای وراثت‌پذیری پایینی بوده و این به دلیل کنترل ژنتیکی پیچیده آن و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط می‌باشد (Dixit *et al.*, 2014). امروزه نظریه اخیر منسوخ شده، بنابراین انتخاب مستقیم بر اساس عملکرد دانه به جای صفات ثانویه (همچون ساختار ریشه، تنظیم اسمزی، پتانسیل آب ریشه، پتانسیل آب برگ و محتوی آب نسبی) توصیه می‌شود (Kumar *et al.*, 2008). در این راستا یکی از راه‌های بهبود عملکرد، ایجاد ارقام نوترکیب متحمل به تنش خشکی و استفاده از شاخص‌های مناسب برای گزینش لاین‌های برتر بویژه از نظر عملکرد دانه در شرایط تنش می‌باشد (Ahmadi and Aharizad, 2014).

در مزرعه برای تفکیک ژنوتیپ‌های متحمل و حساس به تنش خشکی از شاخص‌های انتخاب استفاده می‌شود. این شاخص‌ها بر اساس عملکرد دانه در شرایط تنش و غیر تنش پیشنهاد شده است. شاخصی مناسب است که ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و غیر تنش را از سایر ژنوتیپ‌ها تفکیک کند (Fernandez, 1992).

فیشر و مورر (Fischer and Maurer, 1978) شاخص حساسیت به تنش (Stress Susceptibility Index = SSI) را ارائه کردند. آنها نشان دادند که ژنوتیپ‌هایی با SSI کمتر از واحد، به خشکی مقاوم‌تر هستند. بنابراین کاهش عملکرد آن‌ها در شرایط خشکی کمتر از کاهش میانگین عملکرد دانه کل ژنوتیپ‌ها است (Geravandi *et al.*, 2010).

شاخص تحمل به تنش (Tolerance Index = TOL) و شاخص میانگین محصول‌دهی (Mean Productivity = MP) توسط روزیلی و هامبلین (Rosielle and Hamblin, 1981) معرفی شد. مقادیر بالای TOL نشان‌دهنده حساسیت نسبی ژنوتیپ‌ها به تنش است. MP نیز به صورت میانگین جمع جبری عملکرد دانه یک ژنوتیپ در شرایط تنش و بدون تنش تعریف می‌شود (Geravandi *et al.*, 2010).

شاخص پایداری عملکرد (Yield Stability Index = YSI) توسط بوسلاما و شاپاق (Bouslama and Schapaugh, 1984) پیشنهاد

شد. این شاخص عملکرد دانه ژنوتیپ در شرایط تنش را وابسته به عملکرد دانه در شرایط غیر تنش آن ارزیابی کرده و می‌تواند شاخص مناسبی برای شناسایی ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی باشد. بنابراین انتظار می‌رود که ژنوتیپ‌های با YSI بالاتر در هر دو شرایط، عملکرد دانه بالاتری داشته باشند (Geravandi *et al.*, 2010).

فرنانذز (Fernandez, 1992) میانگین هندسی بهره‌وری (Geometric Mean Productivity = GMP) و شاخص تحمل به تنش (Stress Tolerance Index = STI) را ارائه کرد. GMP در مقایسه با MP در تفکیک ژنوتیپ‌ها از قدرت بالاتری برخوردار است. مقادیر بالای STI نشان‌دهنده آن است که ژنوتیپ دارای پتانسیل عملکرد بالا و متحمل به تنش است (Geravandi *et al.*, 2010).

میانگین هارمونیک (Harmonic Index = HM) نیز از شاخص‌هایی است که در ارزیابی تحمل به تنش مورد استفاده قرار می‌گیرد (Farshadfar, 2000). شاخص عملکرد (Yield Index = YI) توسط گاووزی و همکاران (Gavuzzi *et al.*, 1997) معرفی شد. این شاخص ژنوتیپ‌ها را فقط بر اساس عملکرد در شرایط تنش رتبه‌بندی می‌کند. این شاخص ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و غیر تنش را تشخیص نمی‌دهد (Sio-Se Mardeh *et al.*, 2006).

لن (Lan, 1998) شاخص خشکی (Drought Index = DI) را پیشنهاد کرد. این شاخص برای شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و بدون تنش است (Taghipour *et al.*, 2014). در شاخص DI و STI نه تنها عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش، بلکه عملکرد مناسب در محیط بدون تنش را نیز در نظر می‌گیرند (Farshadfar *et al.*, 2012).

فرشادفر و سوتکا (Farshadfar and Sutka, 2002) شاخص STI را به شاخص تحمل به تنش تغیریافته (Modified Stress Tolerance Index: MSTI) اصلاح کردند. بر این اساس آن‌ها شاخص $K_iSTI$ را محاسبه کردند که در آن $K_i$ ضریب تصحیح STI در شرایط متفاوت رطوبتی می‌باشد. بنابراین $K_1STI$ و $K_2STI$ به‌ترتیب شاخص‌های انتخاب بهینه در شرایط بدون تنش و تنش می‌باشند.

شاخص تحمل غیر زیستی (Abiotic Tolerance Index = ATI)، شاخص درصد حساسیت به تنش (Stress Susceptibility Percentage Index = SSPI) و شاخص تولید در تنش و بدون تنش (Stress-Non Stress Production Index = SNPI) توسط موسوی و همکاران (Moosavi *et al.*, 2008) پیشنهاد شد. این سه شاخص برای غربال ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی در شرایط تنش و بدون تنش کاربرد

دارد (Mohseni *et al.*, 2015).

فیشر و وود (Fischer and Wood, 1979) شاخص نسبی خشکی (Relative Drought Index = RDI) را معرفی کردند. ایمر و همکاران (Emre *et al.*, 2011) شاخص کاهش نسبی عملکرد (Relative Decrease in Yield Index = RDY) را معرفی کردند. در برخی گزارشات از شاخص حساسیت خشکی (Sensitive Drought Index = SDI) استفاده شده است (Farshadfar *et al.*, 2013).

در مطالعات متعددی برای پاسخ به تنش خشکی بر روی برنج شاخص‌های MP، GMP، HM و STI به علت همبستگی بالا با عملکرد دانه در محیط تنش و بدون تنش، به عنوان شاخص‌های مناسب برای گزینش ژنوتیپ‌ها معرفی شده‌اند. به عنوان نمونه صفائی چایی‌کار و همکاران (Safaei Chaeikar *et al.*, 2018) با ارزیابی ۴۹ ژنوتیپ ایرانی، خارجی و چند رقم آپلند برنج، طبخ‌کار و همکاران (Tabkhkar *et al.*, 2018) با بررسی ۸۳ ژنوتیپ برنج و رحیمی و همکاران (Rahimi *et al.*, 2013) با تلاقی ارقام برنج سپیدرود و غریب و ارزیابی ۱۵۰ لاین $F_5$ به نتایج فوق رسیدند.

در پژوهشی دیگر کازرانی و همکاران (Kazerani *et al*,. 2019a) با مطالعه ۹۶ لاین جهش یافته نسل دوم برنج، شاخص‌های GMP، HM، STI، MP و RDY را به عنوان شاخص‌های برتر جهت انتخاب ژنوتیپ های متحمل به تنش خشکی پیشنهاد کردند. شاهمرادی و زهراوی (Shahmoradi and Zahravi, 2016) و عرفانی و همکاران (Erfani *et al.*, 2013) به‌ترتیب با مطالعه ژنوتیپ‌های جو و برنج شاخص‌های STI و GMP را به‌عنوان بهترین شاخص‌های تحمل انتخاب کردند. احمدی و اهری‌زاد (Ahmadi and Aharizad, 2014) و گراوندی و همکاران (Geravandi *et al.*, 2010) در گندم و چغاکبودی و زبرجدی (Chaghakaboodi and Zebarjadi, 2012) در کلزا شاخص‌های STI، GMP و MP را به‌عنوان برترین شاخص‌ها جهت دستیابی به ارقام پر محصول در شرایط تنش و غیر تنش معرفی کردند.

این پژوهش به‌منظور ارزیابی تحمل به تنش خشکی در لاین‌های اینبرد نوترکیب برنج و انتخاب و گروه‌بندی آن‌ها بر اساس شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش انجام شد.

## مواد و روش‌ها

تلاقی اولیه بین دو رقم برنج اهلمی طارم و سپیدرود در سال ۱۳۸۷ در دانشگاه گنبد کاووس انجام شد (Sabouri *et al.*, 2008a; Sabouri *et al.*, 2008b). ارقام برنج اهلمی طارم سپید رود به ترتیب متحمل و حساس به خشکی در مرحله زایشی بودند (Sabouri *et al.*, 2011). پس از تلاقی ارقام

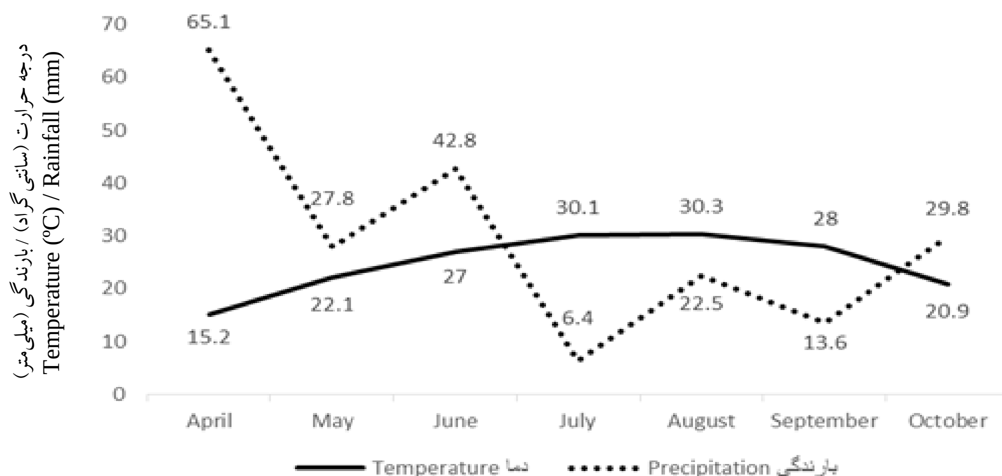
والدینی و اداره نسل‌ها، بذر نسل نهم (F9) در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبد کاووس، با طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۴۵ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۹۶ درجه و ۳۶ دقیقه شمالی با ارتفاع ۵۲ متر از سطح دریای آزاد کشت شدند. به‌منظور تهیه خزانه، ۱۱۶ لاین در گلدان‌های پنج لیتری در گلخانه در اردیبهشت ۱۳۹۵ کشت شد و روزانه دو مرتبه گلدان‌هاآبیاری شدند. در گلخانه دو مرحله کود کامل NPK مخصوص برنج به گیاهچه‌ها داده شد. پس از تصادفی کردن محل نشاء لاین‌ها در واحدهای آزمایشی به تعداد چهار نشاء و هر نشاء شامل سه گیاهچه روی پنج ردیف به طول دو متر و با فاصله ردیف ۲۵ سانتی‌متر بر اساس تراکم ۱۶ بوته در مترمربع در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو محیط جداگانه، بدون تنش (غرقاب) و تنش خشکی در سال زراعی ۱۳۹۵ در مزرعه تحقیقاتی مذکور کشت شدند.

بر اساس نتایج آزمون خاک (جدول ۱)، کود نیتروژن به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار، نصف در زمان کاشت و نصف در مرحله پنجه‌دهی و کود فسفره به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار در ابتدای کاشت داده شد. در طول دوره رشد مراقبت‌های زراعی لازم از قبیل وجین علف‌های هرز و کنترل علف‌های هرز با استفاده از علف‌کش بنتازون انجام شد.

با توجه به روند تغییرات دما و بارندگی در سال ۱۳۹۵ در منطقه گنبد کاووس (شکل ۱) و نیز با داشتن ۲۰۰-۱۵۰ روز خشک، محل آزمایش جزء مناطق آب و هوایی مدیترانه‌ای گرم و خشک محسوب می شود. در این منطقه قسمت عمده نزولات آسمانی در فصل سرد به نازل می‌شود و فصل تابستان نسبتا گرم و خشکی دارد. در این منطقه عمق سطح آب و تراز سطح آب به‌ترتیب ۷/۷ و ۳۸/۵ متر است (Kazerani *et al*., 2018).

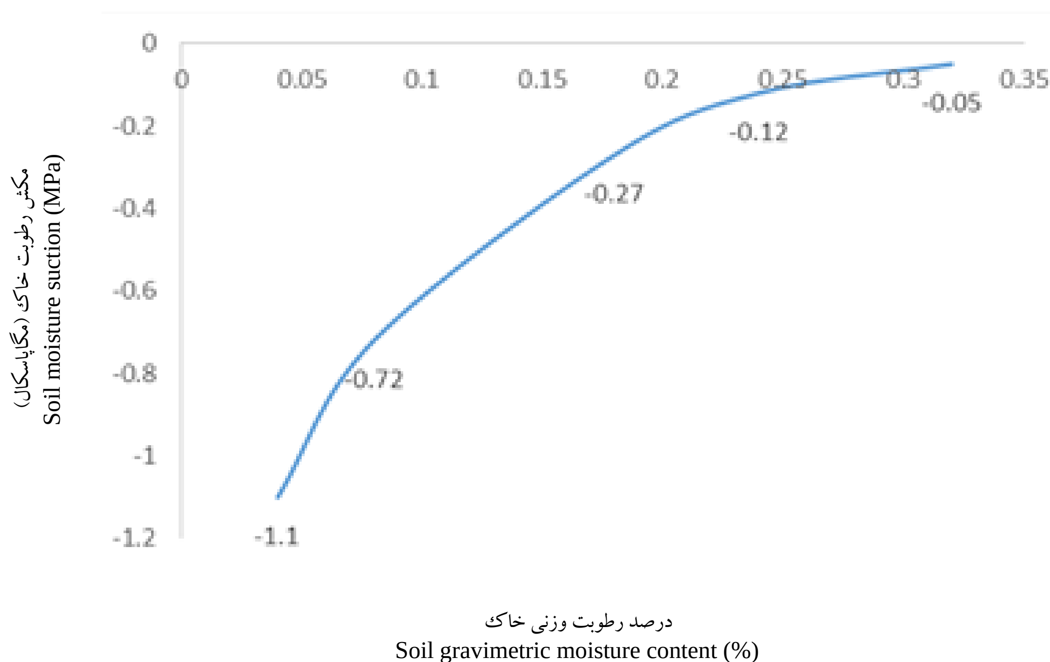
آبیاری در شرایط بدون تنش به‌صورت غرقاب در طول دوره رشد ژنوتیپ‌ها انجام شد، اما در محیط تنش ۴۰ روز پس از نشاکاری (مرحله حداکثر پنجه‌زنی) تا انتهای دوره رشد آبیاری به طور کامل قطع شد (Golesorkhy *et al.*, 2016; Kazerani *et al.*, 2019b). با توجه به منحنی رطوبت خاک متناسب با مزرعه تحقیقاتی در طول دوره آزمایش با فاصله ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰ و ۹۰ روز پس از نشاکاری اقدام به نمونه‌گیری شده و رطوبت خاک به‌ترتیب ۳۲، ۲۴، ۱۸، ۸ و ۴ درصد رطوبت وزنی متناسب با ۰/۰۵-، ۰/۱۲-، ۰/۲۷-، ۰/۷۲- و ۱/۱- مگاپاسکال تخمین زده شد (شکل ۲). از آنجائیکه برنج در مرحله زایشی به تنش خشکی حساس است (Yoshida, 1981)، اعمال تنش پس از مرحله رویشی (حداکثر پنجه‌زنی) انجام شد.

برای تعیین عملکرد دانه، در مرحله رسیدگی از سطح یک و نیم متر مربع برداشت انجام و عملکرد دانه با رطوبت ۱۴ درصد در هکتار در شرایط تنش و غیر تنش محاسبه شد. این




شکل ۱- روند تغییرات دما و بارندگی در سال زراعی ۱۳۹۵ در گنبد کاووس

Fig. 1. Variation in the trend of temperature and rainfall in 2016 cropping season in Gonbad Kavous




شکل ۲- درصد رطوبت وزن خاک محل آزمایش

Fig. 2. Soil gravimetric moisture content curve of experimental site

شاخص‌های با استفاده از عملکرد هر ژنوتیپ در محیط تنش ($Y_S$) و بدون تنش ($Y_P$) و میانگین عملکرد کلیه ژنوتیپ‌ها در محیط تنش ($\overline{Y_s}$) و بدون تنش ($\overline{Y_p}$) به‌وسیله فرمول‌های جدول ۲ به‌دست آمد. به‌منظور بررسی ارتباط شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش خشکی، ضرایب همبستگی ساده محاسبه شد. شاخص‌هایی که با عملکرد در هر دو محیط

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک محل آزمایش در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر

Table 1. Physico- chemical properties of soil of experimental site in 0-30 cm depth

| بافت خاک Soil Texture | | | پتاسیم قابل جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم) | فسفر قابل جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم) | درصد نیتروژن کل | درصد کربن آلی | درصد مواد خنثی شونده | اسیدیته گل اشباع | هدایت الکتریکی | درصد اشباع خاک |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ماسه (٪) | سیلت (٪) | رس (٪) | | | | | | | | |
| Sand (%) | Silt (%) | Clay (%) | Available K (ppm) | Available P (ppm) | Total N (%) | Organic Carbon (%) | Neutralizing Materials (%) | Saturated soil paste acidity | Electrical Conductance | Soil saturation (%) |
| 10 | 60 | 30 | 505 | 28 | 0.13 | 1.33 | 9 | 7.5 | 2.9 | 45.9 |

جدول ۲- شاخص‌های تحمل به خشکی، فرمول‌ها و منابع

Table 2. Drought tolerance indices, formulas and references

| Index شاخص | Formulas فرمول | Reference منبع |
|---|---|---|
| Tolerance | $TOL=Y_P-Y_S$ | Rosielle & Hamblin (1981) |
| Mean Productivity | $MP=(Y_P+Y_S)/2$ | Rosielle & Hamblin (1981) |
| Geometric Mean Productivity | $GMP=\sqrt{Y_P\times Y_S}$ | Fernandez (1992) |
| Harmonic | $HM=2(Y_P\times Y_S)/(Y_P+Y_S)$ | Ghiasy *et al.* (2014) |
| Yield Stability Index | $YSI=Y_S/Y_P$ | Bouslama & Schapaugh (1984) |
| Yield Index | $YI=Y_S/\bar{Y}_S$ | Gavuzzi *et al.* (1997) |
| Stress Susceptibility Index | $SSI=1-(Y_S/Y_P)/SI$ , $SI=1-(\bar{Y}_S/\bar{Y}_P)$ | Fischer & Maurer (1978) |
| Stress Tolerance Index | $STI=Y_P\times Y_S/(\bar{Y}_P^{2})$ | Fernandez (1992) |
| Abiotic Tolerance Index | $ATI=[(Y_P-Y_S)/(\bar{Y}_s/\bar{Y}_p)]\times\sqrt{Y_P\times Y_S}$ | Moosavi *et al.* (2008) |
| Drought Index | $DI=(Y_S^{2}/Y_P)/\bar{Y}_S$ | Lan (1998) |
| Modified Stress Tolerance Index | $MSTI=K_iSTI$ , $K_1=Y_P^{2}/\bar{Y}_P^{2}$, $K_2=Y_S^{2}/\bar{Y}_S^{2}$ | Farshadfar & Sutka (2002) |
| Reletive Drought Index | $RDI=(Y_S/Y_P)/(\bar{Y}_s/\bar{Y}_p)$ | Fischer *et al.* (1998) |
| Reletive Decrease in Yield | $RDY=100-[(Y_S\times Y_P)/100]$ | Emre *et al.* (2011) |
| Stress Susceptibility Percentage Index | $SSPI=[(Y_P-Y_S)/2\bar{Y}_p]\times 100$ | Moosavi *et al.* (2008) |
| Sensitive Drought Index | $SDI=(Y_P-Y_S)/Y_P$ | Farshadfar *et al.* (2013) |
| Stress- Non Stress Production Index | $SNPI=[(Y_P+Y_S)/(Y_P-Y_S)]^{\frac{1}{3}}\times[Y_P\times Y_S\times Y_S]^{\frac{1}{3}}$ | Moosavi *et al.* (2008) |

بیشترین همبستگی را داشتند، به‌عنوان شاخص برتر شناسایی شدند.

برای درک روابط علت و معلولی بین شاخص‌های تحمل و شناخت شاخص‌هایی که بیشترین نقش را در عملکرد دانه ایفا می‌نمایند و نیز شناسایی عوامل پنهانی موثر بر عملکرد دانه از تجزیه به مولفه‌های اصلی به روش حداکثر درست‌نمایی استفاده شد. بر اساس دو مولفه مهم بای‌پلات ترسیم و لاین‌های برتر شناسایی شدند. برای تعیین اندازه فاصله ژنتیکی و گروه‌بندی ۱۱۶ لاین برنج بر اساس ۱۷ شاخص تحمل و حساسیت به تنش و عملکرد دو محیط، دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای با استفاده از الگوریتم WARD ترسیم شد. از نسبت انحراف میانگین خوشه‌ها به میانگین کل، برای تشخیص خوشه متحمل و حساس به تنش خشکی استفاده شد. برای محاسبه شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش و انحراف از میانگین کل در تجزیه خوشه‌ای از نرم افزار Excel 2013 استفاده شد. محاسبه ضرایب همبستگی، تجزیه به مولفه‌های اصلی، ترسیم بای‌پلات، تجزیه خوشه‌ای و تجزیه تابع تشخیص با استفاده از نرم افزار R 3.4.0 انجام شد.

## نتایج و بحث

در شرایط بدون تنش و تنش لاین شماره۱۱۲ به‌ترتیب با ۶۶۴۰ و ۵۱۹۰ کیلوگرم در هکتار پرمحصول‌ترین لاین بود. لاین شماره ۶۴ در شرایط بدون تنش و تنش به‌ترتیب با ۲۲۴۰ و ۱۶۴۰ کیلوگرم در هکتار به‌عنوان کم‌محصول‌ترین لاین مورد مطالعه شناسایی شد. تغییرات پتانسیل عملکرد در لاین‌ها را می‌توان با متغیر بودن اجزاء عملکرد در آن‌ها و همچنین واکنش متفاوت نسبت به شرایط محیطی مرتبط دانست (Mohseni *et al.*, 2015).

از نظر شاخص‌های MP، GMP، HM، YI، STI، $K_1$STI و $K_2$STI لاین شماره ۱۱۲ به‌ترتیب با ۵/۵۹، ۵/۵۸، ۵/۵۶، ۱/۵۵، ۱/۵۱، ۲/۶۳ و ۳/۶۱ متحمل‌ترین و لاین شماره ۶۴ به‌ترتیب با ۱/۹۴، ۱/۹۲، ۱/۸۹، ۰/۴۹، ۰/۱۸، ۰/۰۴ و ۰/۰۴ حساس‌ترین لاین مورد مطالعه بودند. هر چه مقدار عددی این شاخص‌ها بیشتر باشد نشان‌دهنده تحمل به تنش و پتانسیل عملکرد بیشتر آن لاین در هر دو شرایط می‌باشد.

انتخاب بر اساس MP سبب گزینش ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا می‌شود (Fernandez, 1992). یکی از خواص مهم میانگین هندسی آن است که کمتر تحت تاثیر داده‌های پرت قرار می‌گیرد، بنابراین GMP نسبت به MP به میزان کمتری تحت تاثیر مقادیر متفاوت $Y_P$ و $Y_S$قرار می‌گیرد (Jalalifar *et al.*, 2012).

شاخص YI ارقام را فقط بر اساس عملکرد در شرایط تنش رتبه‌بندی می‌کند. بنابراین ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و بدون تنش را مشخص نمی‌کند (Sio-Se Mardeh *et al.*, 2006).

شاخص STI گزینش را به طرف انتخاب ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا و متحمل به خشکی سوق می‌دهد و هر چه مقدار این شاخص زیاد باشد نشان‌دهنده تحمل بیشتر ژنوتیپ نسبت به تنش خشکی و در نتیجه عملکرد بالا است (Fernandez, 1992). لاین‌های شماره ۱۰ و ۸۵ به‌ترتیب با ۱/۴۷ و ۰/۲۴ به‌عنوان متحمل‌ترین و حساس‌ترین ژنوتیپ از نظر شاخص DI انتخاب شدند. شاخص‌های STI و DI علاوه بر آنکه توان ژنوتیپ‌ها را برای تولید عملکرد بالا در شرایط تنش در نظر می‌گیرند، بلکه عملکرد مناسب در شرایط مطلوب را نیز ملاک قرار می‌دهند (Mohseni *et al.*, 2015).

از نظر شاخص‌های TOL، ATI و SSPI لاین شماره ۸۰ به‌ترتیب با ۳/۸۶، ۲۲/۳۷ و ۴۲/۵۱ بیشترین و لاین شماره ۹۲ به‌ترتیب با ۰/۰۱، ۰/۰۹ و ۰/۱۵ کمترین مقدار را داشتند. هر چه مقدار عددی شاخص ATI افزایش و شاخص‌های TOL و SSPI کاهش یابد نشان‌دهنده آن است که حساسیت به تنش کمتر و تحمل نسبی لاین‌ها به تنش رطوبتی بیشتر می‌باشد. بنابراین شاخص‌های ATI لاین‌های شماره ۸۰ و ۹۲ را به‌ترتیب به‌عنوان متحمل‌ترین و حساس‌ترین لاین معرفی کردند. اما عکس این موضوع با شاخص TOL و SSPI تعیین شد.

گزینش لاین‌های متحمل به خشکی بر مبنای هر کدام از شاخص‌ها و یا عملکرد به تنهایی مشکل بوده و حتی گاهی نتایج ضد و نقیضی به‌دنبال دارد (Zebarjadi *et al.*, 2013). بنابراین نیاز به استفاده از تعداد بیشتری از شاخص‌های تحمل به تنش وجود دارد. شاخص‌های SSPI و SNPI تفکیک میزان تحمل به تنش را به‌ترتیب در شرایط عدم تنش و تنش بهتر از شاخص‌های دیگر انجام می‌دهند (Moosavi *et al.*, 2008). بر اساس شاخص SNPI لاین‌های شماره ۹۲ و ۶۴ به‌ترتیب با ۴۰/۶۳ و ۳/۳۸ به‌عنوان متحمل‌ترین و حساس‌ترین لاین‌های مورد مطالعه شناسایی شدند.

از نظر شاخص‌های SSI و SDI لاین شماره ۸۵ به‌ترتیب با ۲/۳ و ۰/۶ حساس‌ترین و لاین شماره ۹۲ به‌ترتیب با ۰/۰۱ و صفر متحمل‌ترین لاین بودند. ارزیابی ژنوتیپ‌ها با استفاده از شاخص SSI، مواد آزمایشی را صرفا بر اساس مقاومت و حساسیت به تنش دسته‌بندی می‌کند. به‌عبارت دیگر با استفاده از این شاخص می‌توان ژنوتیپ‌های حساس و متحمل را بدون توجه به پتانسیل عملکرد آن‌ها مشخص کرد (Fischer and Maurer, 1978). بنابراین به‌منظور یافتن ژنوتیپ‌های متحمل این شاخص کارایی بالایی دارد. در واقع شاخص SSI تغییر یا آسیب وارده به ژنوتیپ‌ها را در شرایط تنش مدنظر قرار می‌دهد. به این معنی که اگر ژنوتیپی در هر دو شرایط تنش و بدون تنش دارای عملکرد بالاتری باشد اما درصد تغییرات زیادی را نشان دهد، به‌عنوان ژنوتیپ متحمل شناسایی نمی‌شود.

با بررسی عملکرد لاین‌ها در هر دو شرایط

تنش و بدون تنش مشخص شد که شاخص‌های TOL، SSI و SSPI در گزینش ژنوتیپ‌هایی که در هر دو محیط تنش و بدون تنش دارای عملکرد مناسب باشند، موفق نبود. در واقع این شاخص‌ها به نوعی تغییر حاصل از شرایط تنش را بیان می‌کند. به‌عبارتی ژنوتیپ‌هایی که دارای مقدار پایینی از این شاخص‌ها باشند تغییرات کمتری را نشان می‌دهند. پایین بودن درصد تغییرات به‌عنوان عامل تحمل به تنش، ارزش زراعی کمی دارد و بیشتر دارای ارزش فیزیولوژیک است. انتخاب بر اساس این شاخص‌ها باعث گزینش ژنوتیپ‌های با عملکرد نسبتاً پایین در محیط بهینه و عملکرد پایین در شرایط تنش می‌شود، که چنین ژنوتیپ‌هایی به‌علت پایین بودن عملکرد از نظر زراعی مناسب نیستند (Schneider *et al.*, 1997).

پایین بودن این شاخص‌ها الزاماً به معنی بالا بودن عملکرد در شرایط بدون تنش نیست، بلکه ممکن است عملکرد یک ژنوتیپ در شرایط بدون تنش پایین باشد و در شرایط تنش نیز با کاهش کمتری همراه باشد که این باعث کوچک ماندن این شاخص‌ها شود و در نتیجه این ژنوتیپ به‌عنوان ژنوتیپ متحمل معرفی شوند (Moghaddam and Hadizade, 2002). به‌عنوان نمونه لاین‌های شماره ۵۰ و ۱۱۵ که در هر دو شرایط رطوبتی دارای عملکرد نسبتا کمی نسبت به دیگر ژنوتیپ‌ها بودند، اما به‌دلیل کاهش اندک عملکرد در شرایط تنش بر اساس این شاخص به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل شناسایی شدند، در حالی‌که شاخص SSI این ژنوتیپ را حساس به تنش معرفی کرد

گزینش بر اساس شاخص TOL سبب هدایت برنامه به‌نژادی به سوی انتخاب ژنوتیپ‌هایی با عملکرد پایین می‌شود (Fernandez, 1992). از نظر شاخص‌های YSI و RDI لاین شماره ۹۲ به‌ترتیب با ۱ و ۱/۳۵ متحمل‌ترین و لاین شماره ۸۵ به‌ترتیب با ۰/۴ و ۰/۵۴ حساس‌ترین لاین‌ها شناخته شدند. شاخص RDI شاخصی مثبت برای نشان دادن تحمل به تنش است (Fischer *et al.*, 1998). شاخص RDY لاین‌های شماره ۶۴ و ۱۱۲ به‌ترتیب با ۹۹/۹۶ و ۹۹/۶۹ را به‌عنوان حساس‌ترین و متحمل‌ترین لاین‌ها معرفی کرد (جدول عملکرد و شاخص‌های تحمل به خشکی ارائه نشده است).

برای اطمینان از اعمال تنش کافی در آزمایش حاضر، شاخص شدت تنش (SI) و میزان بارندگی در شرایط اعمال تش خشکی بررسی شد. بر این اساس میزان شدت تنش ۰/۲۶ برآورد شد که به نظر تنش پائینی به‌حساب می‌آید. به‌عبارتی ۰/۲۶ کاهش در عملکرد دانه در شرایط تنش نسبت به شرایط بدون تنش ایجاد شد. با توجه به قطع آبیاری کامل در مرحله زایشی گیاه انتظار شدت تنش بیشتری وجود داشت. نکته حائز اهمیت آنکه در محاسبه شدت تنش، وجود تعداد زیادی ژنوتیپ متحمل در مجموعه مواد گیاهی مورد ارزیابی، ممکن است برآورد میزان شدت تنش را اریب

نمایـد و آن را کمتـر از میـزان واقعـی نشـان دهد.

برای کنترل این موضوع از مقایسه عملکـرد دانه ژنوتیپ شاهد در شرایط تنش و بدون تـنش اسـتفاده شـد. در ایـن مطالعـه عملکـرد دانـه لاین شـماره ۸۱ در شـرایط تـنش خشـکی ۰/۴۵ کـاهش پیـدا کـرد. قیاسـی و همکـاران (Ghiasy *et al.*, 2014) گزارش کردند با قطع آبیاری در مرحله زایشـی بـرنج در منطقـه گنبـد ۰/۴۳ کاهش در عملکرد دانه در شرایط خشکی نسبت به شرایط غرقاب مشاهده شد. شدت تنش وارده بـه ژنوتیـپ شـاهد بـا گـزارش محققـان مذکور انطبـاق قابـل تـوجهی نشـان می‌دهـد. از طرفی روند تغییرات دما و بارندگی (شکل ۱) و منحنی رطوبتی خاک (شکل ۲) نتـایج پـژوهش حاضـر را تاییـد می‌کننـد و مویـد آن اسـت کـه شدت اعمال تنش کافی بود.

برای بررسی مقاومـت بـه خشـکی شاخصـی مطلوب است کـه همبسـتگی بـالا بـین شـاخص مورد نظر و پتانسیل عملکرد وجود داشته باشـد (Fernandez, 1992). در این راسـتا همبسـتگی شاخص‌ها با عملکرد بررسی گردید. در شـرایط غرقـاب شـاخص‌های $K_1$STI، MP، GMP، STI، RDY، HM و $K_2$STI بـه‌ترتیب بـا ۰/۸۸، ۰/۸۵، ۰/۷۸، ۰/۷۷، ۰/۷۷-، ۰/۷۲ و ۰/۵۸ و در شرایط تنش شاخص‌های HM، $K_2$STI، GMP، STI، RDY، MP، $K_1$STI، RDI، SDI و SNPI بـه‌ترتیب بـا ۰/۹۵، ۰/۹۴، ۰/۹۲، ۰/۹۲، ۰/۹۲، ۰/۹۲-، ۰/۸۷، ۰/۷۳، ۰/۷۱، ۰/۷۱- و ۰/۷ همبسـتگی بـالایی را بـا عملکـرد دانـه داشـتند (جدول ۳).

شـاخص‌هایی کـه در هـر دو محـیط دارای همبستگی بالایی با عملکرد دانه باشند می‌تواننـد به‌عنوان شاخص‌های مناسب انتخاب شوند، چـرا که این شاخص ها قادر به جدا کردن و شناسایی ژنوتیپ‌هایی با عملکرد دانه بالا در هر دو محیط می‌باشند (Fernandez, 1992). در همین رابطـه بـا توجـه بـه ضـرایب همبسـتگی شـاخص‌های مختلف و عملکرد دانه در شرایط تـنش و بـدون تنش، می‌تـوان شـاخص‌های MP، GMP، STI، RDY، HM، $K_1$STI و $K_2$STI را بـــه‌عنوان شـاخص‌های برتـر در هـر دو شـرایط غرقـاب و تنش خشکی که قادرنـد ژنوتیپ‌هـای مقـاوم بـا عملکرد بالا را شناسائی کنند انتخاب نمود. ایـن نتایج در مورد شاخص‌های GMP، HM، STI و MP بـا یافتـه‌های صـفری و همکـاران (Safari *et al.*, 2017)، نقـوی و همکـاران (Naghavi *et al.*, 2016)، بیگ‌زاده و رشـیدی (Beigzadeh and Rashidi, 2016)، غیـاثی و همکـاران (Ghiasy *et al.*, 2014) و صـفایی چائی‌کـار و همکـاران (Safaei Chaeikar *et al.*, 2008) بـه‌ترتیب بـر روی ژنوتیپ‌های زیره، گندم، لوبیا، برنج و برنج همخوانی دارد.

لاین‌های شماره ۱۰، ۱۲، ۴۲، ۱۱۲ و ۱۱۳ بـر اسـاس شـاخص‌های MP، GMP، STI، HM و $K_1$STI در رده بالا و از نظـر شـاخص RDY در رده پـایینی قـرار داشـتند و بـا توجـه بـه اینکـه

جدول ۳- ضرایب همبستگی شاخص‌های تحمل خشکی با عملکرد دانه در شرایط غرقابی و تنش خشکی

Table 3. Correlation coefficients between drought tolerance indices and grain yield in flooding and drought stress conditions

| | $Y_P$ | $Y_S$ | TOL | MP | GMP | HM | YSI | YI | SSI | STI | ATI | DI | $K_1$STI | $K_2$STI | RDI | RDY | SSPI | SDI | SNPI |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $Y_P$ | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| $Y_S$ | 0.47$^{**}$ | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| TOL | 0.47$^{**}$ | -0.55$^{**}$ | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MP | 0.85$^{**}$ | 0.87$^{**}$ | -0.06$^{ns}$ | 1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| GMP | 0.78$^{**}$ | 0.92$^{**}$ | -0.17$^{ns}$ | 0.99$^{**}$ | 1 | | | | | | | | | | | | | | |
| HM | 0.72$^{**}$ | 0.95$^{**}$ | -0.27$^{**}$ | 0.98$^{**}$ | 0.99$^{**}$ | 1 | | | | | | | | | | | | | |
| YSI | -0.27$^{**}$ | 0.71$^{**}$ | -0.96$^{**}$ | 0.28$^{**}$ | 0.38$^{**}$ | 0.46$^{**}$ | 1 | | | | | | | | | | | | |
| YI | 0.47$^{**}$ | 1$^{**}$ | -0.56$^{**}$ | 0.87$^{**}$ | 0.92$^{**}$ | 0.95$^{**}$ | 0.71$^{**}$ | 1 | | | | | | | | | | | |
| SSI | 0.27$^{**}$ | -0.71$^{**}$ | 0.96$^{**}$ | -0.28$^{**}$ | -0.38$^{**}$ | -0.46$^{**}$ | -1$^{**}$ | -0.71$^{**}$ | 1 | | | | | | | | | | |
| STI | 0.77$^{**}$ | 0.92$^{**}$ | -0.19$^{*}$ | 0.98$^{**}$ | 0.99$^{**}$ | 0.99$^{**}$ | 0.39$^{**}$ | 0.92$^{**}$ | -0.39$^{**}$ | 1 | | | | | | | | | |
| ATI | 0.65$^{**}$ | -0.35$^{**}$ | 0.96$^{**}$ | 0.15$^{ns}$ | 0.05$^{ns}$ | -0.05$^{ns}$ | -0.87$^{**}$ | -0.36$^{**}$ | 0.87$^{**}$ | 0.03$^{ns}$ | 1 | | | | | | | | |
| DI | 0.17$^{ns}$ | 0.94$^{**}$ | -0.78$^{**}$ | 0.66$^{**}$ | 0.73$^{**}$ | 0.79$^{**}$ | 0.89$^{**}$ | 0.94$^{**}$ | -0.89$^{**}$ | 0.74$^{**}$ | -0.63$^{**}$ | 1 | | | | | | | |
| $K_1$STI | 0.88$^{**}$ | 0.73$^{**}$ | 0.1$^{ns}$ | 0.94$^{**}$ | 0.92$^{**}$ | 0.89$^{**}$ | 0.1$^{ns}$ | 0.73$^{**}$ | -0.11$^{ns}$ | 0.94$^{**}$ | 0.32$^{**}$ | 0.5$^{**}$ | 1 | | | | | | |
| $K_2$STI | 0.58$^{**}$ | 0.94$^{**}$ | -0.39$^{**}$ | 0.89$^{**}$ | 0.92$^{**}$ | 0.94$^{**}$ | 0.54$^{**}$ | 0.94$^{**}$ | -0.54$^{**}$ | 0.95$^{**}$ | -0.2$^{*}$ | 0.84$^{**}$ | 0.85$^{**}$ | 1 | | | | | |
| RDI | -0.27$^{**}$ | 0.71$^{**}$ | -0.96$^{**}$ | 0.28$^{**}$ | 0.38$^{**}$ | 0.46$^{**}$ | 1$^{**}$ | 0.71$^{**}$ | -1$^{**}$ | 0.39$^{**}$ | -0.87$^{**}$ | 0.89$^{**}$ | 0. 1$^{ns}$ | 0.54$^{**}$ | 1 | | | | |
| RDY | -0.77$^{**}$ | -0.92$^{**}$ | 0.19$^{*}$ | -0.98$^{**}$ | -0.99$^{**}$ | -0.99$^{**}$ | -0.38$^{**}$ | -0.91$^{**}$ | 0.39$^{**}$ | -1$^{**}$ | -0.03$^{ns}$ | -0.74$^{**}$ | -0.94$^{**}$ | -0.95$^{**}$ | -0.38$^{**}$ | 1 | | | |
| SSPI | 0.47$^{**}$ | -0.55$^{**}$ | 1$^{**}$ | -0.06$^{ns}$ | -0.17$^{ns}$ | -0.27$^{**}$ | -0.96$^{**}$ | -0.56$^{**}$ | 0.96$^{**}$ | -0.19$^{*}$ | 0.96$^{**}$ | -0.78$^{**}$ | 0. 1$^{ns}$ | -0.39$^{**}$ | -0.96$^{**}$ | 0.19$^{*}$ | 1 | | |
| SDI | 0.27$^{**}$ | -0.71$^{**}$ | 0.96$^{**}$ | -0.28$^{**}$ | -0.38$^{**}$ | -0.46$^{**}$ | -1$^{**}$ | -0.71$^{**}$ | 1$^{**}$ | -0.39$^{**}$ | 0.87$^{**}$ | -0.89$^{**}$ | -0. 1$^{ns}$ | 0.54$^{**}$ | -1$^{**}$ | 0.38$^{**}$ | 0.96$^{**}$ | 1 | |
| SNPI | 0.04$^{ns}$ | 0.7$^{**}$ | -0.66$^{**}$ | 0.44$^{**}$ | 0.49$^{**}$ | 0.53$^{**}$ | 0.75$^{**}$ | 0.7$^{**}$ | -0.75$^{**}$ | 0.49$^{**}$ | -0.58$^{**}$ | 0.81$^{**}$ | 0.28$^{**}$ | 0.6$^{**}$ | 0.75$^{**}$ | -0.49$^{**}$ | -0.66$^{**}$ | -0.75$^{**}$ | 1 |

* و**: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

ns: غیر معنی‌دار.

* and** : Significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.
ns: Not- significant.

Note: for abbreviation, please refer to Table 2.

توجه: برای اختصارات لطفاً به جدول ۲ مراجعه شود.

شاخص‌های مورد اشاره به‌عنوان شاخص‌های برتر در پژوهش حاضر شناسایی شدند، می‌توان این لاین‌ها را به‌عنوان ژرم‌پلاسم متحمل دانست. لاین‌های شماره ۳، ۴۳، ۵۰، ۶۴، ۸۹ و ۱۰۰مقدار شاخص‌های MP، GMP، STI، HM و $K_1STI$ کمتر و مقدار شاخص RDY بیشتری داشتند، بنابراین به‌عنوان لاین‌های حساس شناسایی شدند.

لاین‌های شماره ۱۳ و ۱۶ در شرایط تنش دارای عملکرد نسبتا یکسانی بودند ولی به‌دلیل بالا بودن عملکرد لاین شماره ۱۳ در شرایط غرقاب شاخص‌های MP، GMP، STI، HM و $K_1STI$ آن بیشتر و شاخص RDY آن پائین‌تر از لاین شماره ۱۶ بود. بنابراین شاخص‌های مذکور زمانی قابل اعتماد هستند که با عملکرد بالا در شرایط تنش در نظر گرفته شوند. به‌طورکلی عکس‌العمل گیاهان زراعی و ارزیابی آن‌ها برای حداکثر عملکرد در شرایط محیطی متنوع وابسته به توانایی متفاوت آن‌ها در استفاده از شرایط محیطی است. این امر از طریق تنظیم اجزای عملکرد و اثر متقابل ژنوتیپ‌ها به هنگام بروز شرایط نامطلوب و مطلوب امکان‌پذیر است (Ghiasy *et al.*, 2014).

هر چه تغییرات یک شاخص در یک جامعه بیشتر باشد، آن شاخص در تفکیک و تمیز افراد آن جامعه موثرتر خواهد بود. البته ضریب همبستگی شاخص‌ها با عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش که برای انتخاب شاخص برتر مدنظر قرار می‌گیرد، به‌طور غیر مستقیم این موضوع را لحاظ می‌کند، ولی برای این‌که به‌توان تصویر واضح‌تری از توانایی ایجاد تمایز بین ژنوتیپ‌ها، توسط شاخص‌های مورد ارزیابی به‌دست آورد، بهتر است از آماره‌های پراکندگی استفاده کرد. این آماره‌ها کمک می‌کنند که در صورت وجود چند شاخص با همبستگی بالا با عملکرد دانه در شرایط نرمال و تنش، یکی از آن‌ها را بر اساس میزان تنوع بیشتر انتخاب کرد (Shahmoradi and Zahravi, 2016). آماره‌های توصیفی برای عملکرد و شاخص‌های تحمل به تنش مورد بررسی در جدول ۴ ارائه شده است.

شاخص‌های $K_2STI$، TOL، SSPI، ATI، SDI، $K_1STI$، SSI و SNPI به‌ترتیب با ۷۹/۳۵، ۶۸/۶۴، ۶۸/۴۷، ۶۸/۳۸، ۶۴، ۶۱/۹، ۶۱/۸۶ و ۶۰/۳۹ ضریب تغییرات بالایی را به خود اختصاص دادند (جدول ۴). این موضوع نشان می‌دهد شاخص‌های مذکور بیشتر از سایر شاخص‌ها در تفکیک و تمایز ژنوتیپ‌های مورد مطالعه موثر بودند. مقدار ضریب تغییرات $Y_P$ و $Y_S$نزدیک به‌هم بود (با کمی تفاوت در جهت بیشتر برای $Y_S$) که نشان می‌دهد تنش خشکی به‌صورت ملایمی سبب افزایش تغییرات در عملکرد دانه در لاین‌های مورد مطالعه شد.

با بررسی توام ضرایب همبستگی شاخص‌ها با عملکرد دانه (شرایط تنش و بدون تنش) و ضریب تغییرات آن‌ها مشخص می‌شود، شاخص $K_1STI$ به‌علت دارا بودن همبستگی قابل توجه

جدول ۴- آماره‌های توصیفی برای شاخص‌های تحمل به تنش برآورد شده برای ژنوتیپ‌های برنج
Table 4. Descriptive statistics for estimated stress tolerance indices for rice genotypes

| شاخص تنش<br>Stress index | حداقل<br>Minimum | حداکثر<br>Maximum | میانگین<br>Mean | انحراف معیار (±)<br>Standard error (±) | درصد ضریب تغییرات<br>C.V.(%) |
|---|---|---|---|---|---|
| $Y_P$ | 2.24 | 6.64 | 4.54 | 0.76 | 16.74 |
| $Y_S$ | 1.64 | 5.19 | 3.36 | 0.81 | 24.11 |
| TOL | 0.01 | 3.86 | 1.18 | 0.81 | 68.64 |
| MP | 1.94 | 5.59 | 3.95 | 0.67 | 16.96 |
| GMP | 1.92 | 5.58 | 3.88 | 0.69 | 17.78 |
| HM | 1.89 | 5.56 | 3.81 | 0.71 | 18.64 |
| YSI | 0.4 | 1.00 | 0.75 | 0.16 | 21.33 |
| YI | 0.49 | 1.55 | 1.00 | 0.24 | 24.00 |
| SSI | 0.01 | 2.3 | 0.97 | 0.6 | 61.86 |
| STI | 0.18 | 1.51 | 0.75 | 0.26 | 34.67 |
| ATI | 0.09 | 22.37 | 6.04 | 4.13 | 68.38 |
| DI | 0.24 | 1.47 | 0.77 | 0.31 | 40.26 |
| $K_1STI$ | 0.04 | 2.63 | 0.84 | 0.52 | 61.9 |
| $K_2STI$ | 0.04 | 3.61 | 0.92 | 0.73 | 79.35 |
| RDI | 0.54 | 1.35 | 1.01 | 0.21 | 20.79 |
| RDY | 99.69 | 99.96 | 99.84 | 0.05 | 0.05 |
| SSPI | 0.15 | 42.51 | 12.97 | 8.88 | 68.47 |
| SDI | 0.003 | 0.60 | 0.25 | 0.16 | 64.00 |
| SNPI | 3.38 | 4.63 | 8.81 | 5.32 | 60.39 |

در هر دو محیط و مقدار ضریب تغییرات بالا به‌عنوان شاخصی که بیشترین تغییرات را در شرایط متفاوت رطوبتی توضیح داد، شناسایی شد (جدول ۴).

تجزیه به مولفه‌های اصلی سه مولفه را نشان داد (جدول ۵). مولفه اول ۸۵/۹۱ درصد از تغییرات را توضیح داد و ارتباط مثبتی با SSPI داشت. شاخص SSPI برای تفکیک ژنوتیپ‌های نسبتاً متحمل و غیر متحمل به تنش رطوبتی استفاده می‌شود (Moosavi *et al.*, 2008). این مولفه ارتباط منفی با عملکرد دانه در شرایط تنش نشان داد. بنابراین مولفه اول را می‌توان به‌عنوان مولفه حساسیت به تنش معرفی کرد که قادر به جداسازی ژنوتیپ‌های حساس به تنش رطوبتی بود. بار عامل‌ها در مولفه اول نشان داد که عملکرد دانه در دو محیط بدون تنش و تنش دارای بار عاملی مثبت و منفی است که تایید همبستگی منفی TOL، SSI، ATI، RDY، SSPI و SDI با $Y_S$ بود. هر چه مقدار این مولفه کمتر باشد ژنوتیپ‌هایی انتخاب می‌شوند که دارای مقادیر کمتری از شاخص‌های مذکور و عملکرد دانه بیشتر در شرایط تنش رطوبتی باشند.

مولفه دوم ۱۱/۷۸ درصد از تغییرات را توضیح داد و ارتباط مثبتی با SNPI داشت. این شاخص بر عملکرد بالا و پایدار در شرایط دون تنش و تنش تاکید دارد (Moosavi *et al.*, 2008). بنابراین می‌توان مولفه دوم را نماینده شاخص‌های مقاومت به خشکی که قادر به جداسازی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در شرایط متفاوت رطوبتی نام‌گذاری کرد. مولفه سوم ۲/۰۵۵ درصد از تغییرات را توضیح داد و ارتباط بالایی با عملکرد دانه در شرایط غرقابی و تنش و

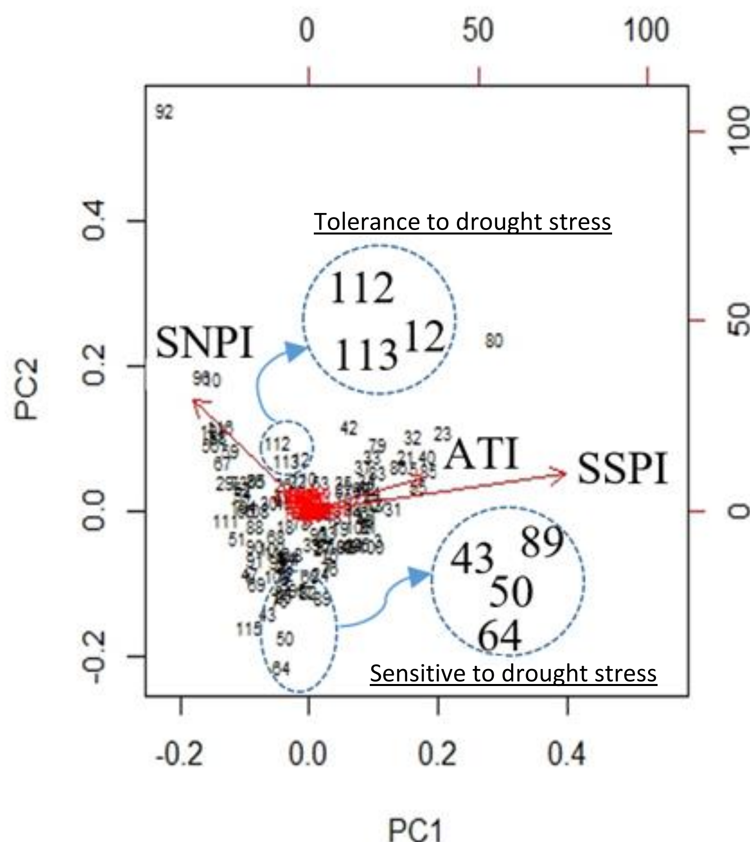
جدول ۵- تجزیه به مولفه‌های اصلی برای شاخص‌های تحمل به خشکی
Table 5. Principal component analysis for drought tolerance indices

| شاخص تنش<br>Stress index | مولفه اول<br>First component | مولفه دوم<br>Second component | مولفه سوم<br>Third component |
|---|---|---|---|
| $Y_P$ | 0.0307 | 0.1253 | 0.2924 |
| $Y_S$ | -0.0453 | 0.099 | 0.3164 |
| TOL | 0.076 | 0.0263 | -0.0244 |
| MP | -0.0073 | 0.1122 | 0.3041 |
| GMP | -0.0144 | 0.1079 | 0.317 |
| HM | -0.021 | 0.1038 | 0.3284 |
| YSI | -0.0144 | 0.0023 | 0.0179 |
| YI | -0.0135 | 0.0295 | 0.0943 |
| SSI | 0.0557 | -0.0091 | -0.0693 |
| STI | -0.0058 | 0.0401 | 0.1221 |
| ATI | 0.3749 | 0.2554 | 0.413 |
| DI | -0.024 | 0.0285 | 0.0822 |
| $K_1STI$ | 0.003 | 0.081 | 0.244 |
| $K_2STI$ | -0.03 | 0.0971 | 0.2952 |
| RDI | -0.0195 | 0.0032 | 0.0242 |
| RDY | 0.0012 | -0.0081 | -0.0251 |
| SSPI | 0.8377 | 0.2904 | -0.2711 |
| SDI | 0.0144 | -0.0023 | -0.0179 |
| SNPI | -0.3776 | 0.8774 | -0.2917 |
| انحراف استاندارد<br>Standard deviation | 10.5015 | 3.8893 | 1.624 |
| واریانس (٪)<br>Variance (%) | 0.8591 | 0.1178 | 0.02055 |
| واریانس تجمعی (٪)<br>Cumulative variance (%) | 0.8591 | 0.977 | 0.99752 |

شـاخص‌ها $Y_P$، $Y_S$، MP، GMP، HM و ATI داشـت. بنـابراین می‌تـوان مولفه سـوم را مولفـه پتانسیل عملکرد نام‌گذاری کـرد (جـدول ۵). از آنجائیکـه ۹۷/۷۰ درصـد از تغییـرات توسـط دو مولفه اول و دوم توضیح داده شد و حذف سـایر مولفـه‌ها تـاثیر بسـیار نـاچیزی در بـین تغییـرات داشت، ترسیم بای‌پلات بر اساس ایـن دو مولفـه انجام شد.

به‌طور کلـی لاین‌هـایی کـه کمتـرین مقـدار مولفه اول و بیشترین مقدار مولفـه دوم را داشـته باشند، برای هـر دو شـرایط بـدون تـنش و تـنش مطلوب خواهند بود. بنابراین با استفاده از تجزیه به مولفه‌های اصلی (جدول ۵) و بای‌پلات رسـم شده (شکل ۳) می‌توان مشاهده کـرد لاین‌هـایی مانـند ۱۲، ۱۱۲ و ۱۱۳ کـه نزدیـک بـه شـاخص SNPI بودند، در هر دو محیط عملکردی بالایی داشـته و بـه‌عنوان لاین‌هـای متحمـل بـه تـنش خشکی شناسایی شدند. این ژنوتیپ‌های متحمل بـه خشـکی را می‌تـوان در مطالعـات ژنتیکـی و فیزیولوژیکی مربـوط بـه‌نحوه تـوارث سـازوکار تحمل به تنش خشکی مورد استفاده قرار داد. در مقابـل لاین‌هـایی مانـند ۴۳، ۵۰، ۶۴ و ۸۹ کـه دارای مقـادیر حـداقلی از مولفـه‌های اول و دوم بودنـد، بـه عنـوان لاین‌هـای حسـاس بـه تـنش خشـکی شـناخته شـدند. بهتـرین شـاخص‌های تحمل نسبی و مقاومـت نسـبی بـه‌ترتیب SSPI و SNPI هستند (Moosavi *et al.*, 2008).

دندروگرام مربوط به تجزیه خوشه‌ای در شکل




شکل ۳- بای‌پلات برای شاخص‌های تحمل به خشکی در ۱۱۶ ژنوتیپ برنج بر اساس مولفه اول و دوم

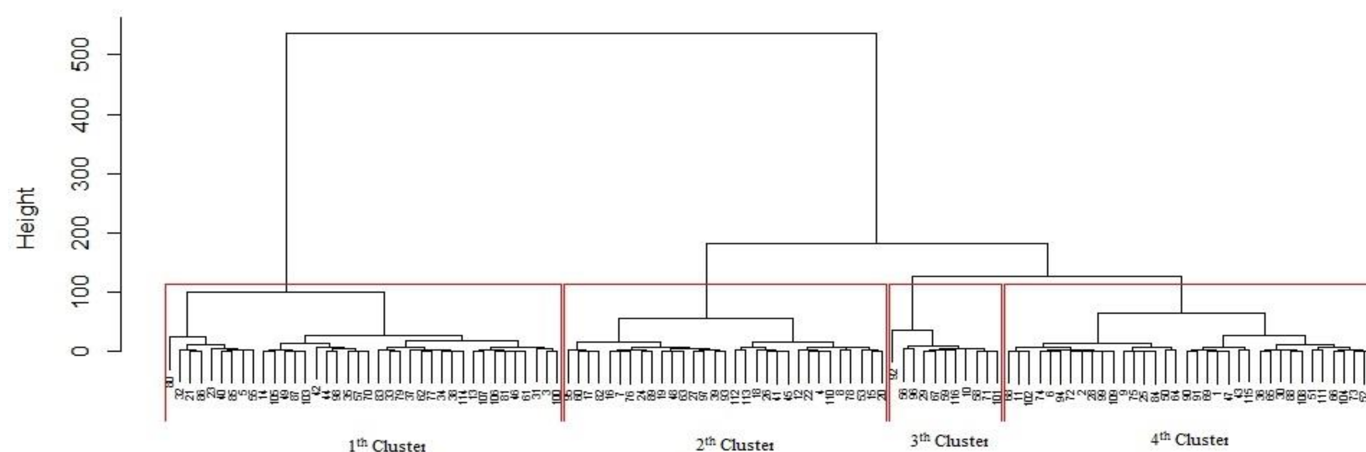
Fig. 3. Biplot for drought tolerance indices in 116 genotypes of rice based on first and second components

۴ ارائه شده است. زمانی که برش دندروگرام در فاصله ۶۵ صورت گرفت، سطح احتمال معنی‌دار شدن به حداقل رسید (جدول ۶).

به‌عبارت دیگر حداکثر تفاوت بین گروه‌های حاصل از تابع اول مشاهده شد. برش دندروگرام در این فاصله منجر به تشکیل چهار خوشه گردید. خوشه‌های اول تا چهارم به‌ترتیب شامل ۳۸، ۳۱، ۱۱ و ۳۶ ژنوتیپ بودند (شکل ۴).

خوشه اول از لحاظ شاخص‌های $Y_P$، TOL، SSI، ATI، RDY، SSPI و SDI بیشترین و از نظر شاخص‌های $Y_S$، MP، GMP، HM، YSI، YI، STI، DI، RDI و SNPI کمترین مقدار را در بین خوشه‌ها داشتند (جدول ۷). در این خوشه لاین‌هایی با عملکرد بالا در شرایط غرقاب و حساس به تنش قرار داشتند. خوشه دوم دارای بیشترین مقدار $K_1$STI بود. لاین‌های خوشه دوم دارای میانگین عملکرد بالا و تحمل نسبی به تنش بودند.

خوشه سوم از لحاظ $Y_S$، MP، GMP، HM، YSI، YI، STI، DI، $K_2$STI، RDI و SNPI بیشترین و از نظر TOL، ATI، RDY، SSPI و




شکل ۴- گروه‌بندی ۱۱۶ ژنوتیپ برنج بر اساس شاخص‌های تحمل به خشکی با استفاده از روش Ward

Fig. 4. Grouping of 116 rice genotypes based on drought tolerance indices using Ward's method

جدول ۶- تابع تشخیص کانونیک برای تعیین محل برش دندروگرام

Table 6. Canonical discriminant function analysis for determination of cutting point of dendrogram

| تعداد گروه<br>Number of groups | ویلکس لامبدا<br>Wilks' Lambda | کای‌اسکور<br>Chi-square | سطح احتمال<br>Probability (%) |
|---|---|---|---|
| 2 | 0.15** | 920.9** | 0.003 |
| 3 | 0.02** | 1308.1** | 0.0005 |
| 4 | 0.005** | 868.1** | 0.0001 |

جدول ۷- میانگین و انحراف از میانگین کل در خوشه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای
Table 7. Mean and deviation for total mean in the cluster resulted from cluster analysis

| | | Cluster خوشه | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| شاخص Stress index | میانگین Mean | اول First | دوم Second | سوم Third | چهارم Fourth |
| $Y_P$ | 4.54 | 0.44 | 0.12 | -0.21 | -0.51 |
| $Y_S$ | 3.36 | -0.52 | 0.16 | 0.87 | 0.14 |
| TOL | 1.18 | 0.96 | -0.04 | -1.08 | -0.65 |
| MP | 3.95 | -0.04 | 0.14 | 0.33 | 0.18 |
| GMP | 3.88 | -0.13 | 0.17 | 0.40 | -0.12 |
| HM | 3.81 | -0.22 | 0.19 | 0.46 | -0.07 |
| YSI | 0.75 | -0.18 | 0.00 | 0.23 | 0.12 |
| YI | 1.00 | -0.15 | 0.05 | 0.26 | 0.04 |
| SSI | 0.97 | 0.68 | 0.00 | -0.89 | -0.45 |
| STI | 0.75 | -0.06 | 0.07 | 0.15 | -0.05 |
| ATI | 6.04 | 4.71 | 0.07 | -5.41 | -3.38 |
| DI | 0.77 | -0.28 | 0.02 | 0.45 | 0.14 |
| $K_1STI$ | 0.84 | 0.06 | 0.15 | 0.05 | -0.21 |
| $K_2STI$ | 0.92 | -0.34 | 0.20 | 0.63 | -0.01 |
| RDI | 1.01 | -0.24 | 0.00 | 0.31 | 0.16 |
| RDY | 99.84 | 0.02 | -0.01 | -0.03 | 0.01 |
| SSPI | 12.97 | 10.53 | -0.41 | -11.85 | -7.14 |
| SDI | 0.25 | 0.18 | 0.00 | -0.23 | -0.12 |
| SNPI | 8.73 | -3.37 | -1.07 | 12.37 | 0.70 |

SDI کمترین مقدار را بین خوشه‌ها داشت. بنابراین در این خوشه لاین‌هایی با میانگین عملکرد بالا و متحمل به تنش قرار داشتند. خوشه چهارم دارای کمترین مقدار $Y_P$، $K_1STI$ و $K_2STI$ بود. لاین‌های این خوشه دارای میانگین عملکرد و تحمل پایین به تنش بودند.

بنابراین با توجه به نتایج تجزیه خوشه‌ای، لاین‌های خوشه‌های دوم و چهارم به ترتیب به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل و حساس در میان لاین‌های نوترکیب مورد بررسی در این پژوهش حاضر انتخاب شدند. همان‌طور که پیش‌تر ذکر شد شاخص $K_2STI$ بیشترین تنوع را در شرایط متفاوت رطوبتی توجیه می‌کند. این مورد نتایج تجزیه خوشه‌ای را تایید می‌کند. خوشه‌های دوم و چهارم به‌ترتیب با بیشترین و کمترین مقدار $K_2STI$ به‌ترتیب معرف متحمل‌ترین و حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها بودند.

با بررسی توام همبستگی شاخص‌ها با عملکرد دانه (شرایط تنش و بدون تنش) و ضریب تغییرات آن‌ها مشخص شد که شاخص $K_1STI$ به‌علت دارا بودن همبستگی بالا با عملکرد دانه در هر دو محیط و مقدار ضریب تغییرات بالا به‌عنوان شاخصی که بیشترین تغییرات را در شرایط متفاوت رطوبتی توضیح داد، تعیین شد. پیشنهاد می‌شود از لاین‌های برتر شناسایی شده در این پژوهش به‌عنوان والدین تلاقی در برنامه‌های به‌نژادی برنج استفاده شود.

## References

**Ahmadi, V., and Aharizad, S. 2014.** Evaluation of bread wheat recombinant inbred lines for water deficit stress tolerance indices. Journal of Sustainable Agriculture and Production Science 23 (4): 9-22 (in Persian).

**Anonymous, 2016.** Statistic of agriculture. 1st Volume. Crop production, growing season 2016. Ministry of Jihad-e-Agriculture, Tehran, Iran.

**Beigzadeh, N., and Rashidi, V. 2016.** Evaluation of agro-physiological traits of bean genotypes under drought stress and non-stress conditions at reproductive stage. Seed and Plant Improvement Journal 32 (2): 215-230 (in Persian).

**Bouslama, M., and Schapaugh, W. T. 1984.** Stress tolerance in soybeans. I. Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. Crop Science 24(5): 933-937.

**Chaghakaboodi, Z., and Zebarjadi, A. R. 2012.** Evaluation of drought tolerance of rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes in laboratory and field conditions. Seed and Plant Improvement Journal 28 (1): 17-38 (in Persian).

**Dixit, S., Singh, A., and Kumar, A. 2014.** Rice breeding for high grain yield under drought: a strategic solution to a complex problem. International Journal of Agronomy 1-15.

**Emre, I., Ozgur, T., Fatma, A. T., and Muzaffer, T. 2011.** Determination of tolerance level of some wheat genotypes to post-anthesis drought. Turkish Journal of Field Crops 16 (1): 59-63.

**Erfani, F., Shokrpour, M., Momeni, A., and Erfani, A. 2013.** Evaluation of drought tolerance in rice varieties using yield-based indices at vegetative and reproductive stage. Journal of Sustainable Agriculture and Production Science 22 (4): 135-147 (in Persian).

**Farshadfar, A. 2000.** Selection for drought resistance in bread wheat lines. Sciences and Agricultural Industries Journal 14: 161-171 (in Persian).

**Farshadfar, E., Jamshidi, B., and Aghaee, M. 2012.** Biplot analysis of drought tolerance in bread wheat landraces of Iran. International Journal of Agriculture and Crop Sciences 4 (5): 226-233.

**Farshadfar, E., Poursiahbidi, M. M., and Safavi, S. M. 2013.** Assessment of drought tolerance in land races of bread wheat based on resistance/tolerance indices.

International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research 1 (2): 143-158.

**Farshadfar, E., and Sutka, J. 2002.** Screening drought tolerance criteria in maize. Acta Agronomica Hungarica 50 (4): 411-416.

**Fernandez, G. C. J. 1992.** Effective selection criteria for assessing stress tolerance. Pp. 257-270. In: Kuo, C. G. (ed.) Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and Other Food Cropsin Temperature and Water Stress, AVRDC publication, Tainan, Taiwan.

**Fischer, R. A., and Maurer, R. 1978.** Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. Australian Journal of Agricultural Research 29 (5): 897-912.

**Fischer, R. A., Rees, D., Sayre, K. D., Lu, Z. M., Condon, A. G., and Saevedra, A. L. 1998.** Wheat yield progress associated with higher stomatal conductance and photosynthetic rate, and cooler canopies. Crop Science 38: 1467-1475.

**Fischer, R. A., and Wood, J. T. 1979.** Drought resistance in spring wheat cultivars. Ш. Yield association with morpho-physiological traits. Australian Journal of Agriculture Research 30: 1001-1020.

**Gavuzzi, P., Rizza, F., Palumbo, M., Campanile, R. G., Ricciardi, G. L., and Borghi, B. 1997.** Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. Canadian Journal of Plant Science 77: 523-531.

**Ghiasy, M., Farahbakhsh, H., Sabouri, H., and Mohamadi Nejad, G. H. 2014.** Evaluation of rice cultivars in drought and normal conditions based on sensitive and tolerance indices. Journal of Plant Production Research 6(4): 55-75 (in Persian).

**Geravandi, M., Farshadfar, E., and Kahrizi, D. 2010.** Evalution of drought tolerance in bread wheat advanced genotypes in field laboratory conditions. Seed and Plant Improvement Journal 26 (2): 233-252 (in Persian).

**Golesorkhy, M., Biabani, A., Sabouri, H., and Mohammad Esmaeili, M. 2016.** Studying the relationship between agronomy traits of rice under flooding and drought stress conditions. Environmental Stresses in Crop Sciences 8 (2): 191-204 (in Persian).

**Jalalifar, S., Moosavi, S. S., Abdollahi, M. R., Chaichi, M., and Mazaherylaghab, H. 2012.** Evaluation of tolerance to drought stress in some bread wheat cultivars using old and new indices. Plant Production Technology 12 (1): 15-26 (in Persian).

**Kazerani, B., Navabpour, S., Sabouri, H., Ramezanpour, S. S. Zaynali Nezhad, K., and Eskandari, A. 2018.** Determination of the best selection indices in mutant lines of rice at different moisture conditions. Journal of Crops Improvement 20 (1): 173-189. (in Persian).

**Kazerani, B., Navabpour, S., Sabouri, H., Ramezanpour, S. S. Zaynali Nezhad, K., and Eskandari, A. 2019a.** Evaluation and selection of rice mutant lines based on drought tolerance indices. Journal of Plant Production Research 25 (4): 15-31 (in Persian).

**Kazerani, B., Navabpour, S., Sabouri, H., Ramezanpour, S. S. Zaynali Nezhad, K., and Eskandari, A. 2019b.** Evaluation of proline content and enzymatic defense mechanism in response todrought stress in rice. Iranian Journal of Plant Physiology 9 (2): 2749-2785.

**Kumar, A., Bernier, J., Verulkar, S., Lafitte, H. R., and Atlin, G. N. 2008.** Breeding for drought tolerance: direct selection for yield, response to selection and use of drought-tolerant donors in upland and lowland adapted populations. Field Crops Research 107: 221-231.

**Lan, J. 1998.** Comparison of evaluating methods for agronomic drought resistance in crops. Acta Agriculturae Boreali-Occid Sinica 7: 85-87.

**Marathi, B., Guleria, S., Mohapatra, T., Parsad, R., Mariappan, N., Kurungara, V. K., Atwal, S. S., Prabhu, K. V., Singh, N. K., and Singh, A. K. 2012.** QTL analysis of novel genomic regions associated with yield and yield related traits in new plant type based recombinant inbred lines of rice (*Oriza sativa* L.). BMC Plant Biology 12: 137-155.

**Moghaddam, A., and Hadizade, M. H. 2002.** Response of corn(*Zea mays* L.) hybrids and their parental lines to drought using different stress tolerance indices. Seed and Plant Journal 18(3): 255-272 (in Persian).

**Mohseni, M., Mortazavian, S. M. M., Ramshini, H. A., and Foghi, B. 2015.** Evaluation of drought tolerance in some wheat genotypes based on selection indices. Iranian Journal of Field Crops Research 13 (3): 524-542 (in Persian).

**Moosavi, S. S., Yazdi Samadi, B., Naghavi, M. R., Zali, A. A., Dashti, H., and Pourshahbazi, A. 2008.** Introduction of new indices to identify relative drought tolerance and resistance in wheat genotypes. Desert 12: 165-178.

**Naghavi, M. R., Moghaddam, M., Toorchi, M., and Shakiba, M. R. 2016.** Evaluation of spring wheat cultivars based on drought resistance indices. Journal of Crop Breeding 8 (17): 192-207 (in Persian).

**Pandey, V., and Shukla, A. 2015.** Acclimation and tolerance strategies of rice under drought stress. Rice Science 22 (4): 147-161.

**Rahimi, M., Dehghani, H., Rabiei, B., and Tarang, A. R. 2013.** Evaluation of rice segregating population based on drought tolerance criteria and biplot analysis. International Journal of Agriculture and Crop Sciences 5 (3): 194-199.

**Rosielle, A. A., and Hamblin, A. J.1981.** Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. Crop Science 21 (6): 943-946.

**Sabouri, H., Biabani, A., Fakhzri Moghaddam, A., Katouzi, M., and Ebadi, A. A. 2008a.** Genetic analysis of agronomic and qualitative traits in iranian rice. Final Report of Project. Gonbad Kavous University. Gonbad Kavous. 48 pp. (in Persian).

**Sabouri, H., Biabani, A., Fakhzri Moghaddam, Mollashahi, M., Sabouri, A., and Katouzi, M. 2008b.** Genetic analysis of agronomic traits in iranian rice using diallel method. Final Report of Project. Gonbad Kavous University. Gonbad Kavous. 49 pp. (in Persian).

**Sabouri, H., Sabouri, A., Jafarzadeh, M. R., Sajjadi, S. J., Mollashahi, M., and Jafarian, H. A. 2011.** Introduction of tolerant rice cultivars for Gonbad Kavous region. Final Report of Project. Gonbad Kavous University. Gonbad Kavous. 46 pp. (in Persian).

**Safaei Chaeikar, S., Rabiei. B., and Rahimi, M. 2018.** Evaluation of drought tolerance indices in rice genotypes (*Oryza sativa* L.). Journal of Crop Breeding 10 (25): 7-18 (in Persian).

**Safaei Chaeikar, S., Rabiei, B., Samizadeh, H., and Esfahani, M. 2008.** Evaluation of tolerance to terminal drought stress in rice (*Oryza sativa* L.) genotypes. Iranian Journal of Crop Sciences 9 (4): 315-331 (in Persian).

**Safari, B., Mortazavian, S. M. M., Sadat Noori, S. A., and Foghi, B. 2017.** Evaluation of drought tolerance in endemic ecotypes of cumin using tolerance indices. Journal of Plant Production Research 23 (4): 185-204 (in Persian).

**Schneider, K. A., Rosales-Serna, R., Ibarra-Perez, F., Cazares-Enriques, B., Acosta-Gallegos, J. A., Ramirez-Allejo, P., Wassimi, N., and Kelly, J. D. 1997.** Improving common bean performance under drought stress. Crop Science 37: 43-50.

**Shahmoradi, Sh., and Zahravi, M. 2016.** Evaluation of drought tolerance in barley (*Hordeum vulgare* L.) germplasm from warm and dry climates of Iran. Seed and Plant Improvement Journal 32 (2): 181-200 (in Persian).

**Sio-Se Mardeh, A., Ahmadi, A., Poustini, K., and Mohammadi, V. 2006.** Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. Field Crops Research 98 (2-3): 222-229.

**Tabkhkar, N., Rabiei, B., Samizadeh Lahiji, H., and Hosseini Chaleshtori, M. 2018.** Assessment of rice genotypes response to drought stress at the early reproductive stage using stress tolerance indices. Journal of Crop Production and Processing 7(4): 83-106 (in Persian).

**Taghipour, Z., Asghari Zakaria, R., Zare, N., and Shaikh Zadeh Mosadegh, P. 2014.** The application of stress tolerance indices for evaluation of *Aegilops triuncialis* ecotypes to terminal drought tolerance. Journal of Crop Production 7 (1): 79-93 (in Persian).

**Yoshida, S. 1981.** Fundamentals of rice crop science. International Rice Research Institute, Los Banos, Laguna, Philippines. 269 pp.

**Zebarjadi, A. R., Tavakoli Shadpey, S., Etminan, A. R., and Mohammadi, R. 2013.** Evaluation of drought stress tolerance in durum wheat genotypes using drought tolerance indices. Seed and Plant Improvement Journal 29 (1): 1-12 (in Persian).